



Stratégies d'utilisation conjuguée des eaux de surface et souterraine pour l'irrigation. CD-ROM : le cas du périmètre irrigué du Tadla au Maroc

Marcel Kuper, Ali Hammani, Said Zemzam, Sami Bouarfa, Vincent Thomas

► To cite this version:

Marcel Kuper, Ali Hammani, Said Zemzam, Sami Bouarfa, Vincent Thomas. Stratégies d'utilisation conjuguée des eaux de surface et souterraine pour l'irrigation. CD-ROM : le cas du périmètre irrigué du Tadla au Maroc. Patrick Le Goulven, Sami Bouarfa, Marcel Kuper. Atelier du PCSI (Programme Commun Systèmes Irrigués) sur la Gestion Intégrée de l'Eau au Sein d'un Bassin Versant, 2003, Montpellier, France. Cirad - IRD - Cemagref, 14 p, 2005. <cirad-00178248>

HAL Id: cirad-00178248

<http://hal.cirad.fr/cirad-00178248>

Submitted on 10 Oct 2007

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Stratégies d'utilisation conjuguée des eaux de surface et souterraine pour l'irrigation

Le cas du périmètre irrigué du Tadla au Maroc

Marcel Kuper*, Ali Hammani**, Said Zemzam**, Sami Bouarfa***, Vincent Thomas*

*Cirad-Tera, 73 rue J.-F. Breton, 34398 Montpellier, France, kuper@cirad.fr

**Av-Hassan II, BP 6202, Rabat-Instituts, Maroc, a.hammani@iav.ac.ma

***Cemagref, Unité irrigation, 361 rue J.-F. Breton, 34196 Montpellier, France, bouarfa@cemagref.fr

Résumé — Les sécheresses des années 80 et 90 et la libéralisation des assolements ont incité les agriculteurs du périmètre irrigué du Tadla au Maroc d'avoir recours massivement à l'eau souterraine pour améliorer la disponibilité de l'eau à travers des puits et forages. Malgré une forte diminution de la dotation en eau de surface dans le périmètre des Beni Amir, les agriculteurs ont pu maintenir leurs productions agricoles grâce au recours de la nappe. Ce constat est valable bien sûr seulement pour ceux qui ont accès à la ressource souterraine, probablement plus que la moitié des exploitants sur ce périmètre. Les stations de pompage, appartenant à des exploitations familiales ou à des petites associations d'exploitations, liés par parenté ou voisinage, pompent jusqu'à 100 000 m³/an pour un peu moins de 2000 heures de fonctionnement. L'objectif de l'article est de déterminer et d'analyser les stratégies développées par les agriculteurs dans l'utilisation conjuguée de l'eau de surface et souterraine. A l'issue d'une analyse réalisée à l'échelle d'un tertiaire d'irrigation (45 ha) du périmètre des Beni Amir, nous mettons en évidence le rôle déterminant que joue la nappe comme ressource complémentaire. Dans la zone d'étude plus de 50 % de l'eau d'irrigation (436 sur 853 mm) provient des stations de pompage, qui ont des taux d'utilisation très variables, allant de 600 à 2000 heures/an. Le nombre d'exploitations qui dépendent de la station de pompage ainsi que l'intensification des exploitations desservies par le forage, se traduisant par une réduction de la superficie cultivée en céréales au profit d'une augmentation des cultures à haute valeur ajoutée, expliquent cette variation. L'intensification de l'agriculture est caractérisé surtout par l'investissement dans l'élevage (lait, viande) et se traduit par une occupation des sols dominée par des cultures fourragères, les deux tiers dans la zone d'étude. L'impact du niveau d'intensification des exploitations sur la consommation en eau est important. Ainsi, les quantités d'eau appliquées varient entre environ 800 et 2000 mm/an pour la culture de luzerne.

Abstract — **Strategies for the combined use of surface and subsurface water for irrigation—a case study in an irrigated cropping area at Tadla in Morocco.** The droughts of the 1980s and 90s and the liberalisation of cropping patterns prompted farmers in the irrigated cropping area at Tadla, Morocco, to massively extract subsurface water via wells and bore holes, thus improving the water supply. The farmers, despite a marked reduction in surface water supplies in the Beni Amir cropping area, were able to maintain their crops using water tapped from the water table. Of course, this only applied to farmers having access to subsurface water resources, i.e. likely more than half of the farmers in this cropping area. Pumping stations belonging to family farms or small associations of related or neighbouring farmers extract as much as 100 000 m³/year for slightly less than 2 000 h of pumping. The present study was aimed at determining and analysing farmers' strategies developed for the combined use of surface and subsurface water. Our analysis was focused on a secondary irrigated plot (45 ha) in the Beni Amir cropping area and the results highlighted that the water table serves as a key

supplementary source of water for farmers. In the study area, it was found that more than 50% of the irrigation water (436/853 mm) came from pumping stations, which had a highly variable usage rate, ranging from 600 to 2 000 h/year. This variation could be explained by the number of farms depending on the different pumping stations, and by the extent of intensification of the farms served by the station. This intensification was reflected by a reduction in the cereal cropping area with a concomitant increase in the area under high value-added crops. It was found that farming intensification led especially to greater investment in livestock production (dairy, meat production) and expansion of the area under forage crops, which represented two-thirds of the study area. The extent of farming intensification had a substantial impact on water consumption. The quantity of water applied to irrigate alfalfa crops thus ranged from around 800 to 2 000 mm/year.

Recours à la nappe dans le périmètre du Tadla et conséquences sur la durabilité

Le périmètre du Tadla au Maroc connaît depuis les 20 dernières années une pénurie en eau de surface pour l'irrigation incitant les agriculteurs à exploiter les nappes souterraines. La zone a connu des années de sécheresse au début des années 80 et à la fin des années 90 avec une pluviométrie jusqu'à 40 % en dessous de la moyenne (370 mm pour la période 1951-2002) et des taux de remplissage des barrages de 20-30 % seulement en moyenne (Direction générale de l'hydraulique, 2003). Le Tadla doit partager l'eau de l'oued Oum er-Rbia avec le périmètre des Doukkala plus à l'aval, qui s'est étendu considérablement depuis 1970. D'autre part, suite à la libéralisation des assolements, la demande en eau du périmètre a tendance à croître, surtout en été, et l'eau de surface ne satisfait pas cette demande croissante. L'exploitation des eaux souterraines permet de faire face à cette situation de pénurie. Ainsi, les agriculteurs ont réussi en 2001/2002 à maintenir le niveau des superficies emblavées malgré une baisse de la dotation en eau de surface par 50 %.

L'irrigation dans la plaine du Tadla, située à 200 km au sud-est de Casablanca à une altitude moyenne de 400 m et d'une superficie de 3 600 km² environ, concerne principalement les périmètres irrigués des Beni Amir (30 000 ha) et des Beni Moussa (69 500 ha), qui sont dominés respectivement par les grands barrages d'El Hansali (capacité de 800 millions de m³) sur l'oued Oum er-Rbia et Bin el Ouidane (1,5 milliard de m³) sur l'oued El Abid. La construction des équipements hydrauliques du périmètre des Beni Amir a commencé en 1932 et la mise en culture progressivement à partir de fin 1936, alors que le périmètre des Beni Moussa a été mis en service à partir de 1952 (Préfol, 1986). Ce dispositif est complété par des zones diffuses de pompage sur environ 18 600 ha et par des périmètres traditionnels (9 100 ha) au piedmont de l'Atlas à l'est des Beni Moussa (Zaz, 1996) (figure 1).

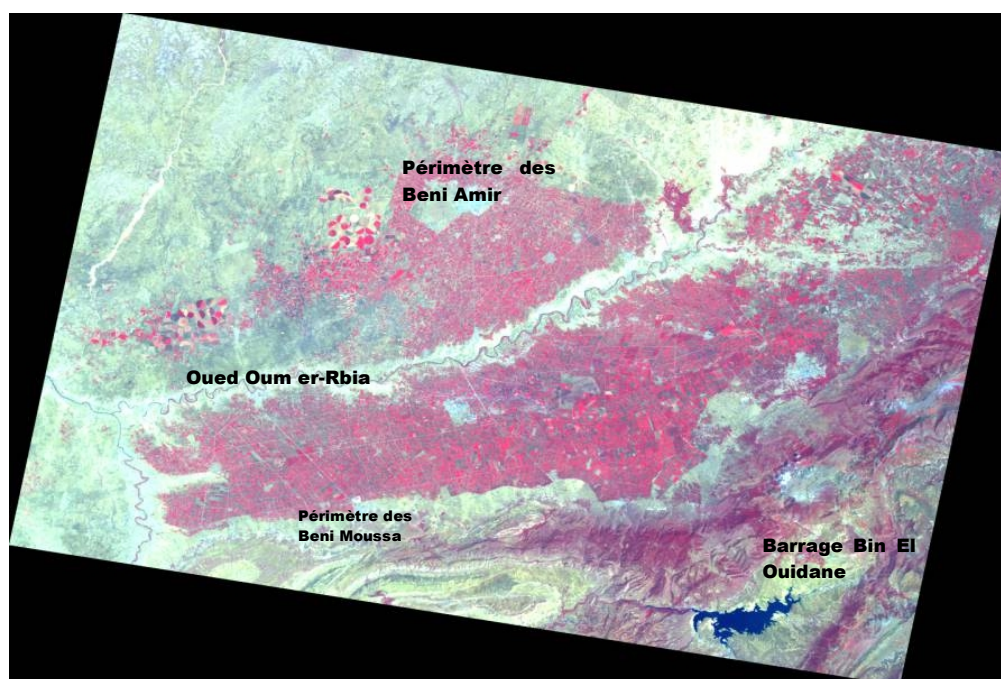


Figure 1. Image satellite montrant l'agriculture irriguée dans la plaine du Tadla.

Le développement du pompage sur le périmètre du Tadla est passé par trois étapes principales. La première sous la responsabilité de l'Office de mise en valeur agricole du Tadla (Ormvat) – gestionnaire du périmètre - au début des années 1950 a consisté à développer le pompage avec un objectif principal de drainage pour rabattre la nappe phréatique qui atteignait un niveau préoccupant dans certaines zones marécageuses du périmètre de Béni Moussa de l'Est. La deuxième, adoptée par les agriculteurs suite aux épisodes de sécheresse, a consisté à utiliser les eaux de la nappe phréatique pour combler le déficit en eau de surface. Cette étape a démarré dans les années 1980, et on constate depuis lors une forte progression du nombre de puits sur le périmètre. En 1984, on dénombre déjà environ 2 800 puits dans les Beni Amir et 5 800 dans les Beni Moussa pompant dans la nappe phréatique, même si un large parti de ces puits se trouvait en dehors de l'aménagement hydraulique de surface (Préfol, 1986). Au début des années 90 le développement de stations de pompage a connu un palier, suite au tarissement de nombreux puits. La libéralisation des assolements dès 1996, et la diversification des systèmes de cultures, par l'introduction notable des cultures d'été, a créé de nouveaux besoins. L'eau du réseau dont la distribution est organisée par l'Ormvat selon le principe du tour d'eau n'arrive pas à satisfaire pleinement ces besoins. Ainsi, et comme troisième étape d'évolution des pompages, les agriculteurs ont commencé à convertir leur puits en forage – 20 % des puits seraient concernés selon les chiffres de l'Ormvat – voire même installer de nouveaux forages. Aujourd'hui on estime à environ 10 000 le nombre de stations de pompage privées (puits et forages) sur le périmètre du Tadla, soit environ un puits/forage sur 10 ha.

Actuellement, l'état s'interroge sur la durabilité du système. La tendance actuelle des agriculteurs de recourir à l'eau de la nappe se renforce et pourrait conduire à des impacts importants sur la ressource souterraine en termes de quantité et de qualité. Un rabattement de la nappe phréatique a été constatée localement et a réduit fortement les débits d'exploitation. Une qualité très hétérogène des eaux souterraines a été observée, allant de 0,8 et de 5,7 dS m⁻¹ sur le périmètre des Beni Amir (Bellouti *et al.*, 2002). Si la salinité des sols semble globalement maîtrisée par les agriculteurs, 20 % des sols apparaissent très sodiques et le risque d'une dégradation des propriétés physiques des sols est important, notamment à travers l'usage des eaux souterraines pour l'irrigation (Dehotin, 2001). L'évolution temporelle du niveau de la nappe phréatique semble également hétérogène, comme le montrent les résultats du réseau de suivi. Cependant, la plupart des points observés révèlent un rabattement de 3 à 5 m de la nappe phréatique suite à la sécheresse du début des années 1980, une stabilisation entre 1985 et 1998, et une autre baisse supérieure à 2 m à partir de 1999 (Hammani et Bounja, 1991 ; Belhacene et Chayat, 1992 ; Thomas, 2001).

Le prélèvement dans la nappe phréatique du Tadla a été déterminé par différents auteurs de façon indirecte à travers l'analyse du bilan hydrologique (Hammani et Bounja, 1991 ; Belhacene et Chayat, 1992). Ces études donnent des indications sur le volume total prélevé, mais n'expliquent pas les raisons du recours à la nappe et l'hétérogénéité des profils des utilisateurs de cette ressource souterraine. L'objectif de cet article est donc de déterminer et d'analyser les stratégies développées par les agriculteurs dans l'utilisation conjuguée de l'eau de surface et souterraine. A l'issue d'une analyse réalisée à l'échelle d'un tertiaire d'irrigation (45 hectares environ) du périmètre des Beni Amir, nous mettrons en évidence le rôle déterminant que joue la nappe comme ressource complémentaire. Cette échelle d'investigation permet de réaliser des enquêtes exhaustives sur une unité de gestion d'eau de surface et dans des conditions techniques homogènes de recours à la ressource souterraine. Cette homogénéité permet de mettre l'accent sur la diversité socio-économique des agriculteurs sur une unité de lieu qui constituera le point focal de ce travail.

Localisation de la zone d'étude et méthodologie

Zone d'étude

L'étude a été réalisée dans un tertiaire d'irrigation situé dans le périmètre irrigué des Beni Amir. Le tertiaire P13TD5B, situé à sept km à l'est de la ville de Fquih Ben Salah, a été choisi car il représente une diversité de situations avec des agriculteurs qui ont accès uniquement à l'eau de surface (5 exploitations) ou utilisant les deux ressources (12 exploitations). Comme dans l'ensemble du périmètre, il existe un important morcellement et dispersion des exploitations. (Bacot, 1991) Cette situation explique en partie qu'au sein d'une même exploitation, l'on observe une grande diversité dans l'utilisation des eaux de surface et souterraine, (tableau I). En outre, plus de la moitié des exploitations a des parcelles situées sur plusieurs tertiaires.

Tableau I. Diversité observée de l'utilisation des ressources en eau au sein d'une même exploitation, en tenant compte des parcelles localisées hors-tertiaire.

Parcelle	Superficie (ha)	Tertiaire	Ressources en eau
1	0,98	P13TD5B	Réseau + nappe
2	1,18	P13TD5C	Réseau unique
3	1,20	P13TD5C	Nappe unique
4	1,00	P12AvalTG6B	Réseau unique

Source : Zemzam, 2003.

Les forages au sein du tertiaire d'étude sont en nombre de six. Ils sont exploités pour la plupart en association par plusieurs agriculteurs. La figure 2 illustre la disposition de ces différents forages. Ces forages n'irriguent pas les parcelles des agriculteurs en dehors de ce tertiaire.

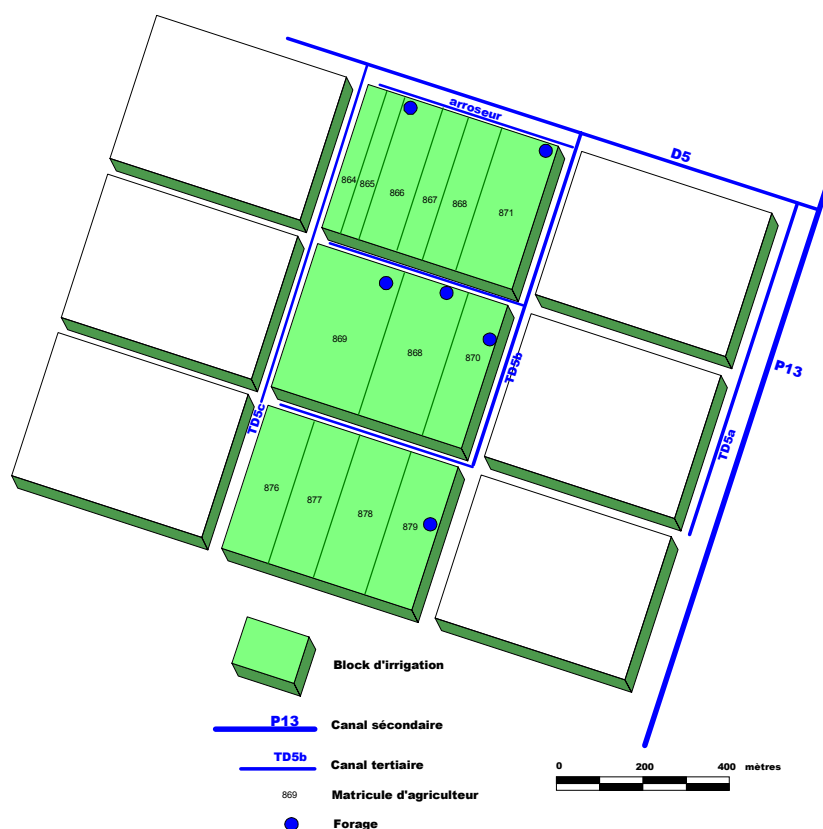


Figure 2. Parcellaire du tertiaire P13TD5B et localisation des forages.

D'autres critères ont été pris en compte dans le choix du tertiaire d'étude, tels que le mode de faire valoir- la plupart des agriculteurs exploitant leurs terres en mode de faire valoir direct comme dans l'ensemble du périmètre -, le fait que les agriculteurs résident sur place contrairement à d'autres tertiaires plus proches de la ville, et la structure foncière. En effet, les exploitations du tertiaire sont représentatives des structures foncières du périmètre des Beni Amir caractérisées par une proportion importante de petites exploitations. La répartition de la propriété foncière des exploitants du tertiaire, en prenant en considération l'existence de parcelles extérieures au tertiaire, est présentée au tableau II.

Le tertiaire P13TD5B se situe à l'aval du canal secondaire P13. Il est subdivisé en trois blocs, qui dominent une superficie d'environ 50 ha dont 46,4 ha sont irrigués (figure 2). Dans chaque bloc, on trouve un nombre différent des exploitations et chaque exploitation est subdivisée en cinq parcelles (correspondant aux soles faisant partie de la trame d'irrigation d'avant la libéralisation).

Tableau II. Répartition de la propriété foncière en tenant compte des parcelles hors tertiaire.

Taille des exploitations en ha	Par rapport à la surface équipée (%)	Par rapport au nombre total des exploitations (%)
< 2.5 ha	13	41
2.5 – 5 ha	18	29
5 – 10 ha	28	24
> 10 ha	41	6

Source : Zemzam, 2003

A l'image de tout le périmètre des Beni Amir, les cultures les plus pratiquées sont les céréales, les fourrages et l'olivier. Les céréales, plus particulièrement le blé tendre, et la luzerne constituent la majeure partie des spéculations du tertiaire avec une présence moins importante de bersim, utilisé comme fourrage.

L'élevage de bovins, basé sur le développement des cultures fourragères, essentiellement la luzerne, et la disponibilité des sous produits des cultures (paille des céréales...) est une activité importante dans la zone. En effet, toutes les exploitations du tertiaire possèdent un cheptel bovin dont le nombre varie entre 2 à 16 vaches laitières, indépendamment de la superficie cultivée. La production laitière, dont la collecte et la commercialisation sont assurées par une coopérative, varie selon la race entre 6 à 15 l/j ou 15 à 25 l/j.

La qualité de l'eau des forages est médiocre avec en moyenne une conductivité électrique (CE) de 4,5 dS m⁻¹ et un taux de sodium adsorbable (SAR) de 5,3. La nappe phréatique se trouve à moins de 20 m de la surface et le niveau piézométrique de la nappe captive de l'éocène est à une profondeur d'environ 30 m.

Méthodologie

Les enquêtes auprès des agriculteurs avaient pour but d'analyser leurs stratégies de recours à la nappe dans le contexte socio-économique de leurs exploitations. Les différentes étapes suivies pour cette étude sont les suivantes :

- enquêtes auprès des responsables de l'Office de mise en valeur agricole du Tadla ;
- enquêtes auprès des agriculteurs ;
- mesures de débit du canal et des forages ;
- évaluation de la satisfaction des besoins en eau des cultures à travers l'utilisation du logiciel Cropwat (Smith, 1992).

Les enquêtes avec les responsables de l'Ormvat ont permis de collecter des données technico-économiques des principales cultures pratiquées dans les Béni Amir (techniques d'irrigation, consommation en eau des cultures) afin d'avoir une première évaluation de la rentabilité des différentes cultures et des volumes d'eau consommés par hectare pour chaque spéculation.

Les enquêtes auprès des agriculteurs ont eu pour but de préciser les éléments fournis par les agents de l'Office et d'appréhender la diversité des situations à l'échelle d'un tertiaire d'irrigation. Une première phase d'enquêtes de type « ouvert » a été mise en œuvre pour choisir le tertiaire et collecter des informations générales sur la zone (cartographie, les problèmes rencontrés etc.). Dans un deuxième temps, des enquêtes techniques ont permis de recueillir des données concernant les itinéraires techniques pour chaque spéculation (équipements, intrants, désherbage, récolte), les charges d'exploitation et la reconstitution des doses d'irrigation (durée, date, volume consommé...).

Des mesures de débit ont été effectuées pour déterminer les apports de l'eau de réseau et de l'eau souterraine. Le logiciel Cropwat de la Fao a été utilisé pour évaluer la satisfaction des besoins en eau des cultures. Cet outil permet de calculer le rapport ET_r/ET_m qui permet d'apprécier les périodes de stress de la culture. Lorsque ce rapport se rapproche de l'unité, la plante se trouve dans des conditions de confort hydrique. Les données nécessaires au fonctionnement du logiciel ont été obtenues à partir de plusieurs sources : les données climatiques proviennent de la station expérimentale d'Ouled Gnaou située à proximité de la zone d'étude ; les caractéristiques du sol ont été fournies par l'Ormvat ; les doses d'irrigation ont été fournies par les agriculteurs.

Résultats et discussion

L'eau de surface mobilisée pour la grande hydraulique n'est pas suffisante pour l'agriculture irriguée

Depuis 1996, les agriculteurs sont libres quant au choix des assolements. Les demandes en eau sont satisfaites par une distribution au tour d'eau et sont basées sur une allocation annuelle à l'hectare. Cependant, en période de pénurie d'eau, cette libéralisation des assolements est remise en cause et l'Ormvat est amené à privilégier l'allocation de l'eau, facturée à 0,20 tertiaire/m³, vers les cultures prioritaires telles que le betterave et les fourrages. Ainsi en 2001/2002 le volume d'eau disponible pour le périmètre était de 130,8 millions de m³, presque 50 % inférieur à la moyenne de la période 1978-2002 (245,6 millions de m³). Sur une superficie cultivée de 30 000 ha, cela signifie un volume disponible de 4 300 m³/ha (contre 8 200 en année moyenne) sans compter les pertes dues au transport.

Ces chiffres sont à mettre en perspective avec les besoins en eau des cultures cultivées sur le périmètre pour la campagne 2001/2002 (en tenant compte des conditions climatiques de l'année et les coefficients culturaux k_c déterminés dans la station d'Ouled Gnaou) qui sont de 4 500 m³/ha pour le blé tendre (novembre-juin), 21 700 m³/ha pour la luzerne (toute l'année), 8 000 m³/ha pour le bersim (septembre-mai), 11 400 m³/ha pour le sésame (juin-août).

Les agriculteurs reçoivent l'eau selon un tour d'eau établi par l'Ormvat à la demande des agriculteurs. Trois paramètres sont importants pour saisir le fonctionnement du tour d'eau : (1) le débit (la main d'eau), qui est fixé à 30 l/s sur l'ensemble du périmètre, (2) la durée d'irrigation et (3) la fréquence des tours d'eau. L'Ormvat a défini une durée minimale de 3 heures/ha (équivalent à 32 mm) et une fréquence maximale de 15 jours, alors qu'un agriculteur irrigue en moyenne un ha de culture pendant 8 à 12 heures (86-130 mm) en utilisant des techniques d'irrigation traditionnelles (la *robta*). Normalement, une telle réduction de la dotation est limitée à la période de l'été quand l'oued est au plus bas de son niveau, mais en année sèche ces périodes se prolongent. Thomas (2001) constate ainsi une telle limitation en dotation de mars à août 2000 (figure 3).

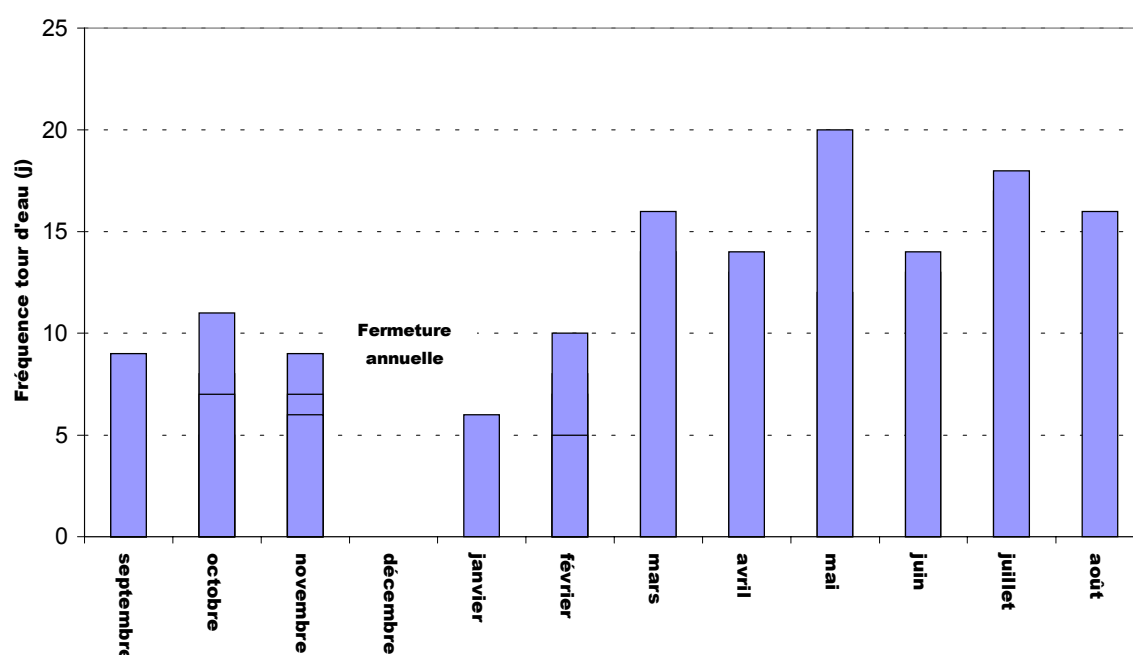


Figure 3. Evolution de la fréquence d'irrigation pendant la campagne 2000-01 pour le tertiaire P20amTG3B (source : Thomas, 2001).

Malgré la forte réduction de la dotation en eau de surface, les agriculteurs réussissent à maintenir les intensités culturales, comme le montre la figure 4. Ils conservent ou augmentent les superficies en céréales (blé tendre, notamment) et en luzerne. En revanche, ils diminuent des cultures d'été comme le maïs et le sorgho.

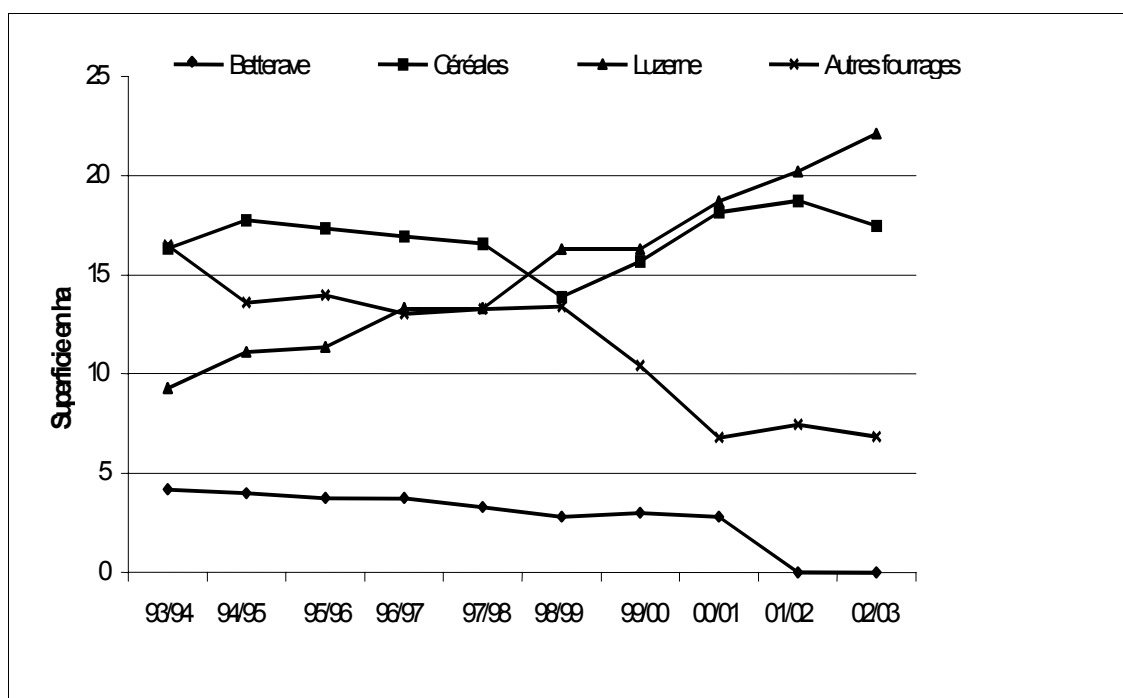


Figure 4. Evolution des principales cultures dans le tertiaire P13TD5B.

L'eau souterraine devient une ressource complémentaire et indispensable à l'agriculture irriguée

Pour appréhender le phénomène de l'utilisation de l'eau souterraine, difficilement quantifiable à cause de sa distribution diffuse dans la zone et sa gestion privée, il faut connaître trois variables : le nombre de puits et forages dans la zone, le débit de ces puits/forages (en fonction d'un certain nombre de paramètres hydrauliques) et, c'est le plus difficile, leur taux d'utilisation.

Au début des années 80, les premières années de sécheresse ont vu la pluviométrie chuter d'une moyenne de 368 mm (1950-2000) à respectivement 188 et 167 mm en 1980/1981 et 1982-83 (station d'Ouled Gnaou). Le pompage individuel dans la nappe a en conséquence été fortement encouragé, notamment par des subventions. La figure 5 montre l'évolution rapide des puits dans le périmètre des Beni Amir.

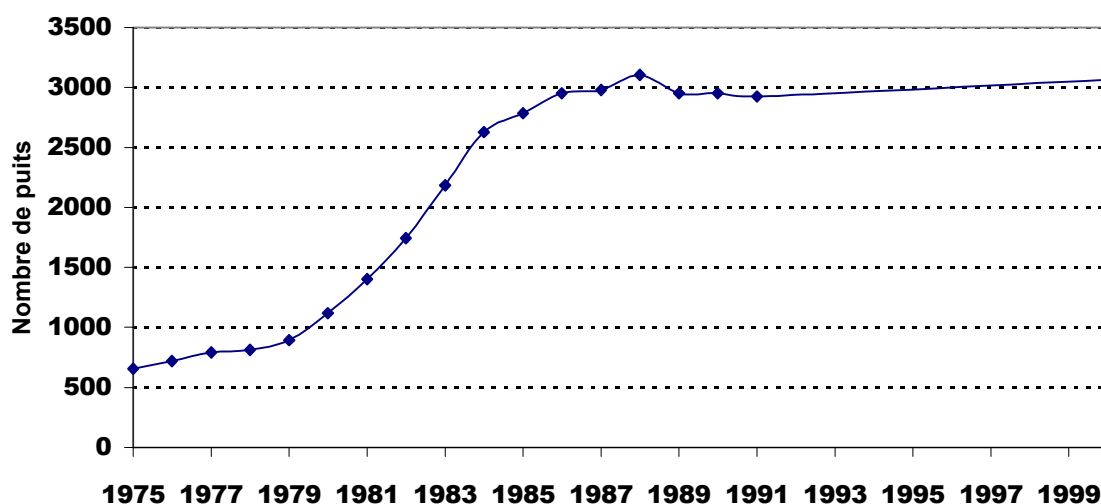


Figure 5. Evolution du nombre de puits fonctionnel dans le périmètre des Beni Amir. (Belhacen et Chayat, 1992, actualisé par Thomas 2001).

En revanche, l'évolution du nombre de puits est demeurée très faible durant les 10 dernières années, même si les données sur le nombre de stations de pompage restent à vérifier. Depuis la fin des années 80, certains puits se sont taris et les agriculteurs ont fait un « saut qualitatif » en approfondissant leurs puits déjà existants et en creusant des forages. En 2000 le nombre de stations de pompage sur le périmètre des Béni Amir était estimé à 3 065 dont 1 639 à l'intérieur du réseau de la grande hydraulique pour un total de 8 500 agriculteurs « immatriculés¹ » (Thomas, 2001). Selon les données de l'Ormvat, le nombre de stations de pompage à l'intérieur du réseau en 2002 aurait augmenté à un peu plus de 1700, dont presque 80 % de puits. Ces puits sont surtout situés vers l'aval du périmètre car la nappe y est proche de la surface.

Aujourd'hui on rencontre une diversité de stations de pompage dans le périmètre des Béni Amir. Berrkia (2003) distingue, en ce qui concerne le dispositif de captage des eaux :

- les puits avec une profondeur inférieure à 35 m, mais avec des diamètres importants de l'ordre de 1,4 à 3 m ;
- les puits-forages sont des dispositifs intermédiaires, peu présents dans la zone. Il s'agit de forages qui alimentent un puits, permettant ainsi l'amélioration du débit du puits. Les profondeurs de ces ouvrages varient de 30 m à 120 m ;
- les forages, dont la profondeur peut dépasser 160 m, sont de petit diamètre, souvent entre 10 et 15 cm.

Les puits sont équipés en très grande majorité en moteur diesel, avec quelques puits équipés en moteur électrique. Les pétrolettes, qui représentaient jusqu'à 1995 une part assez importante de l'équipement, jusqu'à 40 % (Zaz, 1996), ne se trouvent actuellement que dans les zones où la nappe est proche du sol. De plus, leur utilisation reste limitée à l'usage domestique (Berrkia, 2003). Les moteurs diesels à axe horizontal sont utilisés dans les zones à faible bathymétrie (moins de 30 m). Les moteurs diesels à axe vertical se situent dans les zones où la nappe est plus profonde, ce sont des pompes de surface dont la partie hydraulique est de type centrifuge.

Les caractéristiques du dispositif moto pompe (type d'alimentation, puissance du moteur, diamètre de la pompe) et la profondeur de la nappe influencent les débits obtenus. Les débits sont en général de l'ordre de 10-20 l/s pour la majorité des stations de pompage (Thomas, 2001). En général, les débits des puits sont légèrement inférieurs aux débits des forages.

Les stations de pompage de la zone d'étude, le tertiaire P13TD5B, sont tous des forages dont le débit varie de 12 à 17 l/s et la profondeur varie de 128 à 160 m. Le diamètre des forages varie entre 9 et 10 cm (Zemzam, 2003).

Les forages sont le plus souvent partagés entre les membres d'une même famille ou entre voisins. Ainsi, quatre forages de la zone d'étude sur six desservent deux à trois exploitations. Pour ces associations, tous les frais d'investissement (coût de creusement, achat de motopompe et coût d'abri) et d'entretien sont partagés selon le nombre des associés (Zemzam, 2003).

L'étude fine du fonctionnement des forages dans le tertiaire TD5B montre un taux d'utilisation annuel allant de 7 % (600 heures) à 21 % (1870 heures). Ce taux d'utilisation est très variable dans l'année et il n'est pas rare de voir atteindre des forages des pourcentages de 40-50 % à partir du mois de mai, (figure 6).

Deux facteurs expliquent les différences dans les taux d'utilisation des forages. D'abord l'intensification des exploitations desservies par le forage, se traduisant par une réduction de la superficie cultivée en céréales au profit d'une augmentation des cultures à haute valeur ajoutée, demandant plus d'eau, notamment en été, comme le montre la figure 7. Ce sont également les exploitations qui connaissent moins de problèmes de trésorerie pour faire face aux dépenses de fonctionnement des forages.

Ensuite, le nombre d'exploitations qui utilisent un forage détermine également son taux de service. Le forage 1 illustre ce facteur. Trois agriculteurs se partagent ce forage et donnent en alternance leur tour d'eau de surface à un quatrième exploitant, qui n'a pas accès à l'eau souterraine, ce qui explique son fort taux d'utilisation. En revanche, la surface dominée ne semble pas un facteur très explicatif – les forages 1 et 5 dominent la même superficie, mais le forage 5 pompe trois fois moins que le forage 1. Il importe donc de comprendre les stratégies des exploitations qui dépendent du même forage pour pouvoir déterminer son taux d'utilisation.

¹ Tous les héritiers des agriculteurs immatriculés lors de l'équipement du périmètre s'attachent au même numéro de matricule même s'ils exploitent les terres indépendamment les uns des autres.

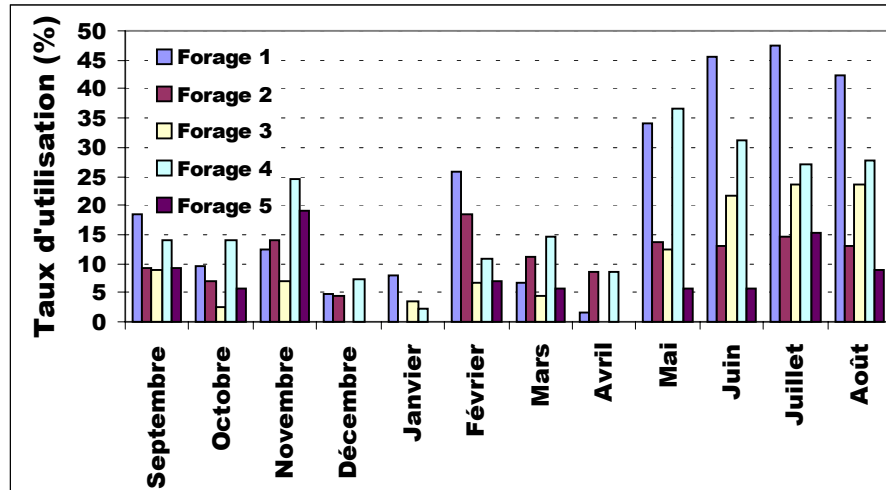


Figure 6. Taux d'utilisation (le nombre d'heures annuel de fonctionnement divisé par le nombre total d'heures dans une année) des forages du tertiaire TD5B (P13). (Zemzam, 2003).

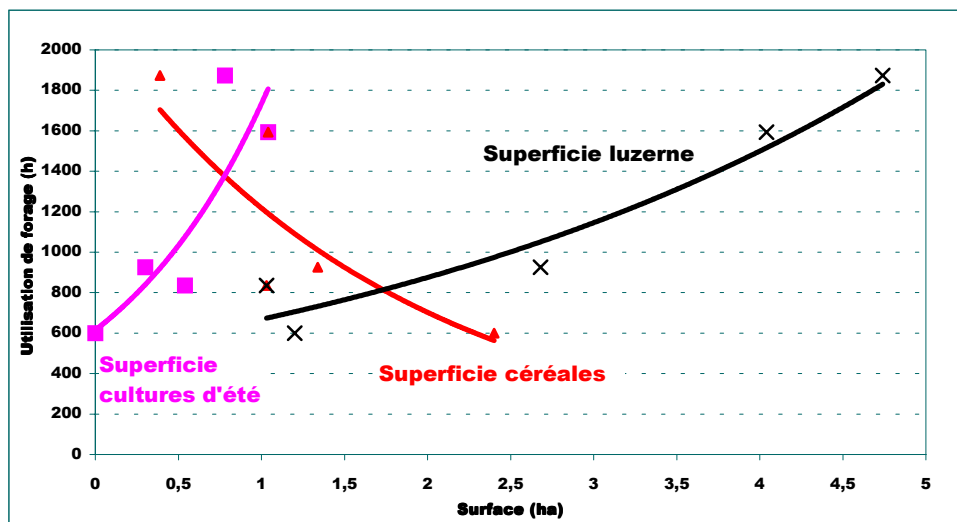


Figure 7. Utilisation annuelle des forages (h) du tertiaire P13TD5B en fonction du type et de la superficie des cultures emblavée. Cinq forages ont été étudiés et leur utilisation corrélés avec la superficie des assolements (céréales, luzerne, cultures d'été).

Il faut enfin rappeler que les forages de la zone d'étude sont relativement similaires dans leur configuration (dispositif motopompe, profondeur forage, débit) et qu'il serait intéressant d'étudier les relations de la figure 8 pour un échantillon de puits et de forages dans une gamme agronomique, économique et bio-physique plus large.

Les échanges d'eau entre les agriculteurs ne sont pas fréquents au sein du tertiaire TD5B, et pratiqués uniquement pour l'eau de surface. En effet, les agriculteurs sont réticents à prêter leur forage à d'autres exploitants, qui utilisent leur propre gasoil pour faire fonctionner ce forage mais ne participent pas à l'amortissement du dispositif ni à son entretien. Quand un forage dessert plusieurs exploitants, il est encore plus difficile pour un autre exploitant d'obtenir l'usage du forage à cause de son plus fréquent usage et du fait qu'il faut demander l'autorisation à plusieurs personnes.

Les stratégies d'utilisation conjuguées des eaux des exploitations agricoles

La plupart des exploitants de la zone d'étude – 12 sur 17 – ont accès à l'eau souterraine. La possession d'un revenu extérieur généré par l'émigration est le facteur principal qui a permis à ces agriculteurs de creuser un forage. En effet, l'émigration est un phénomène important dans la région. Les deux tiers des agriculteurs ont des membres de famille à l'étranger. Le revenu extérieur est crucial pour l'investissement initial d'un dispositif de forage (estimé entre 75 000 à 120 000 tertiaire), son entretien et maintenance, notamment le remplacement des pièces majeures telles que les conduites d'aspiration et même son fonctionnement du forage (estimé à 0,305 tertiaire/m³) (Zemzam, 2003). Le revenu extérieur, de même que l'activité de l'élevage par la vente de lait, garantit en effet une certaine sécurisation de la trésorerie des exploitants. Certaines parcelles morcelées – souvent le fruit de conflits portant sur l'héritage – sont privées de l'utilisation de cette ressource souterraine à cause de l'éloignement. Les agriculteurs qui n'ont pas accès à l'eau souterraine citent généralement des problèmes d'ordre financier. En effet, les frais d'installation d'un forage et son exploitation dépassent les capacités financières des exploitants. Dans quelques cas, les agriculteurs évoquent aussi la petite taille de leurs exploitations, diminuant la rentabilité de l'installation d'un forage.

En 2001/2002, les agriculteurs enquêtés ont utilisé 558 000 de m³ d'eau pour une superficie totale de 65,4 ha irriguée (leurs parcelles, y compris les parcelles situées hors-tertiaire), soit 853 mm en moyenne (tableau III). Un peu plus de la moitié de cette quantité provient de la nappe, soit 285 000 de m³ environ. Une très nette variation temporelle quant à la provenance de l'eau d'irrigation est discernable. Alors qu'en automne et en hiver, l'eau de surface couvre les deux tiers de l'eau fournie aux cultures, la tendance s'inverse à partir de mars et la nappe est particulièrement sollicitée de mai à août. En effet, plus de 60 % du volume annuel souterrain est pompé pendant cette période.

Tableau III. Volumes d'eau de surface et souterraine utilisés par les agriculteurs du tertiaire TD5B sur l'ensemble de leurs parcelles (y compris hors-tertiaire) en 2001/2002.

Volumes en 000 m ³	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Total m ³	Total mm
Réseau	30	31	37	21	0	33	10	4	31	20	31	24	273	417
Nappe	17	12	28	5	3	18	15	8	38	43	48	50	285	436
Total	47	43	65	26	3	52	25	12	69	63	80	74	558	853
Réseau (%)	63	72	57	82	0	65	41	35	44	32	39	33	49	
Nappe (%)	37	28	43	18	100	35	59	65	56	68	61	67	51	

Source : Zemzam, 2003.

La dotation en eau de surface pour 2001/2002 a consisté à environ 4 750 m³/ha pour la zone d'étude (ou 4174 m³/ha si on tient compte des parcelles situées hors-tertiaire). Cette quantité est relativement peu variable d'un agriculteur à un autre avec un coefficient de variation de 0,27, si on fait abstraction du cas des trois frères où deux d'entre eux cèdent chacun la moitié de leurs tours d'eau de surface à leur frère qui, en contre partie, n'utilise pas l'eau de la nappe. En revanche, il existe une très grande hétérogénéité dans l'utilisation de l'eau souterraine entre les agriculteurs en fonction de l'accès à la nappe et du taux d'intensification de l'exploitation. Ainsi, six agriculteurs utilisent de 13 000 à 17 000 m³/ha et trois autres environ 5 000 m³/ha pendant cette année sèche. L'utilisation importante de l'eau de la nappe du premier groupe peut être imputée aux systèmes de cultures. En effet, ils installent en plus de la luzerne des cultures d'été (sésame, sorgho fourrager et maïs fourrager). Ainsi, la station de pompage fonctionne durant toute une campagne agricole. L'abreuvement du cheptel et la consommation domestique, qui représentent des quantités faibles, sont assurés par l'eau du forage.

Après la libéralisation des assolements et selon la disponibilité des ressources en eau, les agriculteurs cherchent à travers leur plan de culture de répondre à trois objectifs principaux :

- l'autoconsommation : les agriculteurs réservent en général une ou deux parcelles pour le blé ou l'orge pour subvenir aux besoins de la famille. En général, presque la moitié de la récolte est destinée à la vente sur les marchés locaux, le reste est auto-consommé ; environ 2 quintaux sont stockés comme semences ;
- sauvegarde du cheptel : La principale ressource financière régulière des agriculteurs est générée par la vente du lait, donc la présence d'une culture fourragère, principalement la luzerne dans le champ est favorisée, même si elle est très consommatrice en eau ;

– la rentabilité : La luzerne représente la principale culture et elle est cultivée par tous les agriculteurs, sa marge nette est estimée à 27 650 tertiaire/ha contre 7 220 tertiaire/ha (y compris la partie autoconsommée) pour le blé tendre (Zemzam, 2003). Par ailleurs, les exploitants, qui ont accès à l'eau souterraine, ont la possibilité d'installer une culture fourragère durant les mois d'été et peuvent se permettre de vendre la luzerne sèche.

On retrouve ces trois objectifs dans chaque exploitation du tertiaire, mais il existe bien des nuances. Ainsi, on peut distinguer :

- les céréaliculteurs éleveurs (25 %) ; les superficies emblavées en céréales dominent les superficies occupées par les cultures fourragères ;
- les éleveurs (30 %) ; leur assolement est constitué uniquement par des cultures fourragères (luzerne, bersim, maïs et sorgho fourrager) ; la taille du cheptel n'est guère corrélée à la superficie de l'exploitation ; ainsi, un des agriculteurs possède 19 bovins dont 10 vaches laitières pour une superficie de moins de 2 ha ; l'héritage et l'argent fournis par l'émigration expliquent cette indépendance ;
- les éleveurs céréaliculteurs (45 %) ; la superficie emblavée en cultures fourragères est plus importante que la superficie en céréales.

Dans la zone d'étude, on constate une aptitude des petites exploitations à l'intensification avec une occupation du sol qui dépasse dans l'année les 100 %, (tableau IV). Dans le cas des grandes exploitations, une superficie non négligeable reste en jachère, faute de moyens humains et financiers. Par ailleurs, les grandes exploitations sont souvent dispersées sur plusieurs tertiaires, ainsi la gestion de l'ensemble est difficile surtout en ce qui concerne l'accès à la ressource en eau. Il peut avoir accès à l'eau souterraine pour les parcelles situées dans un tertiaire, alors que pour les autres parcelles, il dépend uniquement de l'eau de réseau.

Tableau IV. Taux d'intensification par strate de superficie dans le tertiaire P13TD5B.

Strate	Taux d'intensification en pourcentage
< à 2,5 ha	117 à 120
De 2,5 ha à 5 ha	100 à 110
> à 5 ha	80 à 106

Les assolement actuels montrent la préférence des agriculteurs pour la luzerne (22 ha sur 46 ha dans le tertiaire) pour plusieurs raisons : (1) une résistance au déficit hydrique, (2) des aliments pour le cheptel, et (3) la vente lucrative sur les marchés locaux ou directement aux agriculteurs. En revanche, on constate une priorité dans l'attribution de l'eau pour le blé tendre du fait de la sensibilité de la culture, surtout en stades critiques, au déficit hydrique. En effet, alors que les besoins en eau du blé tendre sont en moyenne satisfaits à 100 %, les besoins de la luzerne dépassent de loin les quantités d'eau fournies par les agriculteurs. Autre aspect intéressant, même les agriculteurs ayant un accès uniquement à l'eau du réseau parviennent à satisfaire globalement les besoins en eau du blé tendre (à 95 % contre 120 % pour ceux ayant un accès complémentaire à la nappe). Pour la luzerne, en revanche, les agriculteurs ne disposant pas de l'eau souterraine n'arrivent pas irriguer suffisamment et donnent en moyenne seulement 40 % des besoins (8 750 contre 20 700 m³), alors que ceux qui utilisent les deux ressources appliquent environ 90 % des besoins (18 350 m³), (figure 8).

L'agriculteur A7 irrigue quelques parcelles en dehors du tertiaire, qui ne sont pas desservies par le réseau, avec le forage situé au sein du tertiaire. Cela occasionnant des pertes d'eau importantes dues au transport. Même s'il peut faire fonctionner son forage selon ces besoins, obtenant une autonomie dans sa pratique d'irrigation, il applique moins de l'eau que sur ces parcelles avec accès aux deux ressources à cause du coût élevé de pompage. L'agriculteur A2, qui n'a accès qu'à l'eau du réseau, a su donner 35 % plus d'eau que la moyenne de ceux qui dépendent exclusivement du réseau de surface grâce à des échanges d'eau avec ses frères, qui eux ont accès aux deux types de ressources. En revanche, l'agriculteur A5 qui n'a pas de famille à l'étranger, et qui a pu installer le forage parce qu'il est associé à un autre agriculteur pour partager les frais d'investissement, impute son échec à satisfaire les besoins en eau de la luzerne à des problèmes de trésorerie pour l'achat du gasoil. Le revenu de l'émigration est jugé crucial par les agriculteurs dans le financement de l'exploitation du forage.

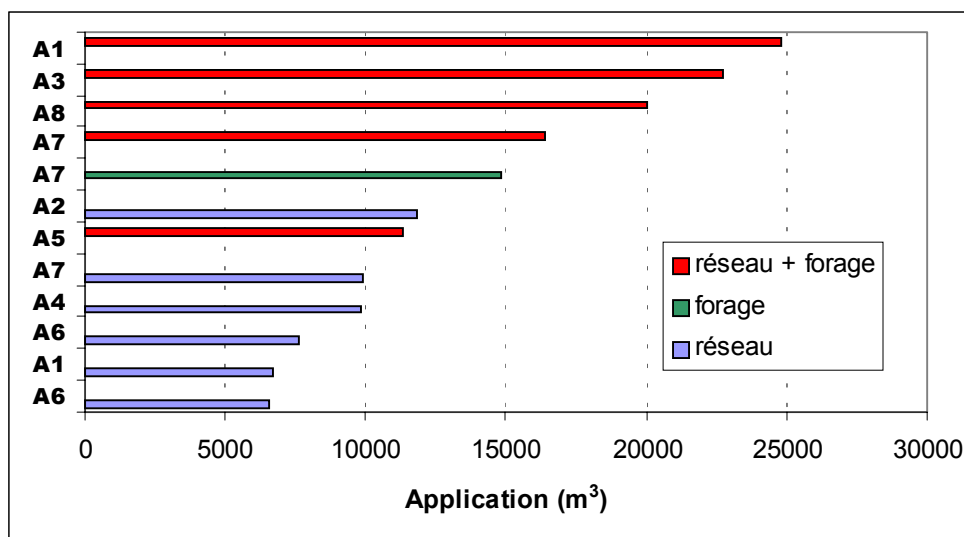


Figure 8. Les volumes annuels (m³/ha) appliqués sur la luzerne pour les différentes ressources en eau.

L'accès à la ressource en eau souterraine permet aux agriculteurs de diminuer le stress hydrique des cultures traditionnelles, blé tendre, betterave et surtout la luzerne. A travers le rapport ET_R/ET_M déterminé à l'aide du logiciel dessous de la Fao (Smith, 1992), on peut quantifier ce stress et comparer deux exploitations avec et sans accès à la nappe (figure 9), en estimant l'efficacité à la parcelle à 70 % (Berthomé, 1991).

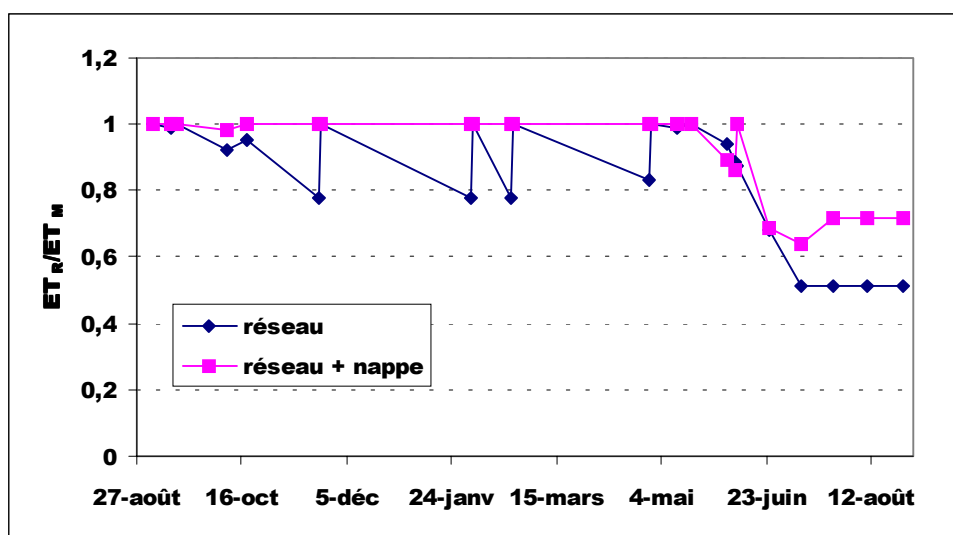


Figure 9. Evolution du rapport ET_R/ET_M (Cropwat) pour la luzerne en fonction de l'accès aux ressources en eau pendant la campagne agricole 2001/2002.

Les exploitations qui ont un accès unique à l'eau de surface ne peuvent pas satisfaire les besoins en eau de la luzerne. De novembre à avril, ils donnent préférence à la culture de blé tendre et durant l'été la dotation à l'hectare diminue. Ainsi, la plupart des agriculteurs qui n'ont pas accès à l'eau de la nappe ont abandonné une de leurs parcelles de luzerne à cause de cette pénurie d'eau. Les exploitations ayant un accès complémentaire à la nappe gèrent facilement le stress hydrique tout au long de la campagne jusqu'en juin. Ces agriculteurs installent durant l'été une culture fourragère (maïs, sorgho) ou le sésame dont les besoins en eau est aussi important. A cause du nombre d'agriculteurs associés dans l'exploitation d'un seul forage et le faible débit des forages - inférieur à 20 l/s - la pression sur l'utilisation de la station de pompage augmente. Ainsi, avec la diminution de la dotation en eau de surface durant l'été, les agriculteurs sont contraints d'assurer le confort hydrique à toutes les cultures et ont du mal à fournir suffisamment d'eau à la luzerne.

S'ajoutent à cela, des problèmes de trésorerie pour faire fonctionner ces forages. En effet, le coût de l'eau (fonctionnement forage, achat d'eau de surface) constitue entre 8 et 21 % des charges opérationnelles de l'exploitation (engrais, produits phytosanitaires, main d'œuvre, mécanisation, aliments pour le bétail...).

Conclusion

Malgré une forte diminution de la dotation en eau de surface dans le périmètre des Beni Amir, les agriculteurs ont pu maintenir leurs productions agricoles grâce au recours de la nappe. En effet, grâce à l'utilisation des forages, les agriculteurs peuvent faire face aux principales contraintes liées à l'utilisation du réseau (rigidité dans les dates et les durées des irrigations, offre aléatoire et souvent insuffisante par rapport à la demande). Ce constat est valable bien sûr seulement pour ceux qui ont accès à la ressource souterraine, probablement plus que la moitié des exploitants sur ce périmètre (Mosseddaq et Majnaoui, 1993 ; SCET, 1995), même si la répartition dans l'espace est loin d'être homogène.

Les puits et forages dans le périmètre des Beni Amir – aujourd'hui plus de 3 000 – ont des débits relativement faibles et peuvent alimenter des parcelles à des centaines de mètres de distance avec des pertes d'eau considérables dans les arroseurs et à la parcelle. Les agriculteurs préfèrent donc mélanger les eaux du réseau et souterraine pour augmenter la main d'eau et diminuer les pertes. Ces pratiques réduisent la flexibilité dans l'usage des forages. Par ailleurs, les quantités d'eau utilisées par les agriculteurs dépassent souvent les besoins en eau des cultures. Il serait intéressant d'analyser la conduite de l'irrigation à la parcelle et son impact sur le stress hydrique des plantes dans la nouvelle configuration de l'utilisation conjuguée de l'eau et les différents niveaux de débit observés (usage conjointe et séparée des eaux).

Les puits et forages appartiennent pour la plupart à 2 jusqu'à 4 agriculteurs parents ou voisins. En revanche, on constate une réticence profonde à partager le dispositif de pompage avec d'autres agriculteurs. Le prix de vente de l'eau pompée, équivalent au coût du fonctionnement du forage (0,30 dirham/m³) ne tient effectivement pas compte des coûts d'entretien et d'amortissement, et décourage sa vente par les propriétaires des stations de pompage. Il serait intéressant d'analyser le potentiel d'installation et de gestion de forages collectifs de plus grande envergure assurant des débits au moins égaux à la main d'eau du réseau (30 l/s). L'échange de l'eau reste une alternative très intéressante à explorer davantage avec les agriculteurs qui n'ont pas les moyens pour exploiter les eaux souterraines.

Les exploitations agricoles au sein de la zone d'étude affichent des taux d'utilisation de la ressource souterraine très hétérogènes, malgré une relative homogénéité des conditions physiques de la ressource en eau de surface (quantités reçues) et souterraine (profondeur de la nappe, qualité de l'eau). D'autres critères socio-économiques tels que l'émigration et le revenu extérieur, l'indivision et le problème d'héritage, les contraintes financières et enfin la structure foncière de l'exploitation, expliquent en effet les décisions d'investissement et d'exploitation de l'eau souterraine. Ainsi, les facteurs physiques (salinité du sol et de l'eau, dynamique de la nappe) ne sont pas les seuls déterminants qui conditionnent les règles de prise des décisions des agriculteurs quant au choix de la ressource en eau à utiliser. Les agriculteurs sont conscients des problèmes de salinité occasionnés par l'utilisation de l'eau souterraine, mais cette complication reste secondaire par rapport au manque d'eau du réseau pour l'intensification de l'agriculture.

Le revenu extérieur, issu de l'émigration, constitue une source d'argent très importante pour les agriculteurs. Il leur permet de financer leurs projets, notamment l'investissement dans des stations de pompage, et de disposer d'une trésorerie suffisante pour faire face aux dépenses opérationnelles, tel que l'achat du gasoil pour le fonctionnement des puits et forages. Cela pose la question de la durabilité économique des exploitations agricoles dans la zone et la situation financière des exploitations agricoles sans recours au revenu extérieur.

Remerciements

Les auteurs remercient Patrice Garin pour ses commentaires sur une version antérieure de l'article et tous les agents de l'Ormvat ayant facilité le travail de terrain.

Références bibliographiques

Bacot M.L. 2001. Les stratégies d'utilisation conjuguée des eaux de surface et souterraines pour l'irrigation dans le périmètre irrigué de Tadla (Maroc). Mémoire de fin d'études, Ecole nationale du génie de l'eau et de l'environnement, Strasbourg, France, 81 p.

Belhacene H., Chayat M., 1992. Evaluation des problèmes d'engorgement des sols, de drainage et de la qualité des eaux et des sols dans le périmètre du Tadla. Volume II : Qualité des eaux et des sols dans le périmètre du Tadla. Institut agronomique et vétérinaire Hassan II, Rabat, Mémoire de troisième cycle en agronomie - Option génie rural, 241 p.

Bellouti A., Cherkaoui F., Benhida M., Debbarh A., Soudi B., Badraoui M., 2002. Mise en place d'un système de suivi et de surveillance de la qualité des eaux souterraines et des sols dans le périmètre irrigué du Tadla au Maroc. In S. Marlet et P. Ruelle (éd. sc.). Vers une maîtrise des impacts environnementaux de l'irrigation. Actes de l'atelier du Pcsi, 28-29 mai 2002, Montpellier, France. Cemagref, Cirad, Ird, Cédérom du Cirad.

Berrkia N. 2003. Utilisation conjuguée des eaux souterraines et des eaux de surface dans le périmètre des Beni Amir : typologie des pompages et impact sur la qualité des eaux et des sols. Mémoire de fin d'étude, Institut agronomique et vétérinaire Hassan II, Rabat, Maroc, 123 p.

Berthomé P., 1991. Second projet d'amélioration de la grande irrigation, mission de pré évaluation de la banque mondiale – Annexe sur l'amélioration des techniques d'irrigation, 60 p.

Dehotin J., 2001. Tendances évolutives des sols dans le périmètre du Tadla. Mémoire de fin d'étude, Institut agronomique et vétérinaire Hassan II, Rabat, Maroc, 166 p.

Direction générale de l'hydraulique, 2003. Situation des barrages au quotidien. <http://www.mtpnet.gov.ma/dgh/>

Hammani A. Bounja R., 1991. Etude de la nappe phréatique et du drainage dans le périmètre de Beni Moussa (Tadla) : - Bilan hydrogéologique de la nappe ; Diagnostic du réseau de drainage. Mémoire de 3^e cycle, I.A.V. Hassan II, Département génie rural et sciences du sol, Rabat, Maroc, 160 p, annexes.

Mosseddaq F. Majnaoui M., 1993. Etude des exploitations et suivi de parcelles : Diagnostic agronomique, étude socio-économique des exploitations agricoles, contraintes à la production céréalière cas du Tadla – Tome 1, volume II., 138 p.

Préfol P., 1986. Prodiges de l'irrigation au Maroc. Le développement exemplaire du Tadla, 1936-1985. Nouvelles Editions Latines, Paris, France, 266 p.

SCET, 1995. Diagnostic des exploitations agricoles, résultats de l'enquête. Projet de management des ressources du Tadla. - Société centrale pour l'équipement du territoire, Rabat, Maroc, 98 p.

Smith M., 1992. CROPWAT: a computer programme for irrigation planning and management. FAO Irrigation and Drainage Paper no. 46, Rome, Italie.

Thomas V., 2001. Analyse et modélisation de l'utilisation conjuguée des eaux de surface et des eaux souterraines dans le périmètre irrigué des Beni-Amir (Maroc) – Mémoire de DEA sciences de l'eau dans l'environnement continental : Université de Montpellier II sciences et techniques du Languedoc, France, 118 p.

Zaz H., 1996. Bilan de la gestion des ressources en eau dans le périmètre irrigué du Tadla – Rapport ORMVAT, Fquih Ben Salah, Maroc, 70 p.

Zemzam S., 2003. Stratégies d'utilisation conjuguée des eaux de surface et des eaux souterraines pour l'irrigation dans le périmètre irrigué du Tadla. Mémoire de fin d'étude, Institut agronomique et vétérinaire Hassan II, Rabat, Maroc, 207 p.